生物技術在綠色農業發展上之應用與展望

李宜映、殷正華、李昌鴻、鄒篪生

財團法人國家實驗研究院科技政策研究資訊中心

摘　要

由於農用工具與技術的進步，農業由原始「天人合一」的自然生態逐漸轉變為「人定勝天」的科技農業。為使自然資源不致因此破壞而枯竭，必須以綠色農業為發展目標，以達到永續經營的目的。然而面臨糧食危機及生活變遷等挑戰，如何在滿足人類需求的同時，又能兼顧生態平衡，生物技術將是必要的手段之一。因此，各國紛紛透過前瞻計畫，預測生物技術對農業所造成之衝擊，以及未來 20-30 年後的情境預測。其中，日本每五年進行一次的科技前瞻，為永續農業提供了五種策略方向：1.糧食安全：面臨 2025 年可能發生之糧食危機，可以利用基因操作等提高光合作用以增進作物產量，並積極開發水產糧食來源；2.減少殘毒：開發生物性農藥或利用溶磷、固氮菌提高土壤肥力，預計在 2015 年可以將農藥化肥用量減半，同時配合生物復育技術，以分解環境中有毒物質；3.增進健康：根據個人體質或族群特性，設計各種機能性食品以預防疾病；4.食品安全：透過宣導使民眾對 GMO 有正確觀念，提供消費者自行選擇的權力，並開發各種家用分析檢測工具，以保障消費安全；5.產銷整合：面對全球化競爭壓力，必須扭轉小農之經濟劣勢如推動法人化農業機構，或提高農產品質如推動生產履歷制度。結合前瞻概念與技術地圖的實現，綠色農業所追求的永續境界將指日可期。

前　言

世界各國對「綠色」之一詞，多詮釋象徵為「和平」，國際綠色和平組織即為一例。農業為一個兼顧生態、生產及生活之「三生」產業，在其本質下，致力於自然生態的維護與增進人類健康及生活品質之永續發展為主要願景及目標。因此「綠色農業」是建立於以追求和平、自然、健康為訴求的現代農業型態。最早對於農業的解釋起於辭海「辟土耕作之業曰

農」，國際對 Agriculture 的注釋為「The technology and art of raising crops」。

這種解釋雖以描述傳統農業為主，但仍無疑的表達農業是一個人類的經濟行為，目的在確保人類物種的生存及繁延。因此農業被認為人類最早的產業，實際上藉由農業規模亦決定了世界人口的數量。因為農業的發展創造了人為生態，人類的發展可跳脫自然生態的法則而成為有異於其他物種的高等動物，主宰了地球的資源。而自然生態所強調之物種多樣化的自然平衡，面對追求單一物種生產效率的人為生態，如何取得兩者之間平衡又能滿足人類的需求，實為目前政府發展永續農業面對之重要課題。

農業的轉變

由十七世紀迄今，細觀農業，不論在基礎科學、機械工具或經營模式都有明顯的演進和改變。在傳統農業時代，農業技術是一種依賴經驗傳承的技藝，利用此技藝以天然的物種為材料，透過自然資源的選拔及擴散之育種方式來創造人為生態，此種產業型態以自給自足為主，可視為「靠天吃飯」。基本上此階段之農業對自然生態的衝擊，仍在自然界復育的能力之內。十九世紀歐洲的工業革命導致農業技術上的質變，工業產品如化肥、農藥、農機、水利等大量運用在農業。遺傳學也在十九世紀成熟，致使農業所採用的物種也由自然選拔改變成以雜交方式依人類的需求所育成。傳統農業因而質變成「科技農業」。雖然技術的改良不僅大幅提升農業的生產效率，同時帶動生態及生活的改變，包括農業科學化、農產品的商品化，間接促成農業金融之興起及農業勞力的釋出。

但在此一效應下，提高了人為生態對自然生態的衝擊，除了促進都市化而改變人類的膳食型態，農業與工商業競爭使得農業成為劣勢產業，進而拉大南北方經濟之發展差距，美國的大農企業亦趁勢崛起。科技農業型態在產業上雖達到「人定勝天」的境界，但實質上對環境的破壞埋下不可逆的負面傷害。由於此一生態衝突到 1980 年代達到頂點，至 1990 年代乃有「永續農業」觀點之興起，認為農業應兼顧經濟的成長、環境的永續與人類的繁延之三大訴求的生活方式。

二十世紀末由於數位革命及資訊技術的快速發展，開啟知識經濟的大門，農業再次面臨轉型的壓力。此時分子生物學的興起逐漸取代過去以遺傳學及生理學為基礎的農業思考模式，所用的工具則以生物技術為主。再者，經營模式融入農業資訊、生技、設計等概念，整合成為新興的「知識農業」。生物技術已成為各國致力發展的新興科技技術，在永續農業的前

提下，如何在滿足人類需求的同時，利用生物技術以減少人為生態對自然生態的衝擊，達到「天人合一」的境界，為知識農業致力發展的目標，才能維持自然生態的永續平衡。

全球變遷衝擊與永續發展

美國國會在 1990 年曾對永續農業定義如下，即永續農業是作物與畜禽生產的整合系統，此一系統在維持長期的人類糧食與纖維物質的不斷供應、維護環境與資源的優良品質，有效結合不可更新資源與其他農場資源在生態循環與經濟利用之間取得平衡，並增進整體社會與人類的生活品質。由上面所述，永續農業可視為一個植物與動物生產程序中的整合系統，然而要達到農業永續的經營，推動綠色農業為主要的發展目標。在綠色農業的理念下，綜觀二十一世紀，全球農業所面臨的新挑戰以及發展的新方向，可從下面各點加以探討分析:

一、國際糧食安全問題：

我國已加入世界貿易組織，因為貿易自由化後，糧食自給率的重要性已相對減少。但是回顧過去全球糧食供應，聯合國發佈在 1999 年底世界人口將達到六十億，而專家預估在 2050 年時，全球將有九十億的人口，糧食生產的壓力更甚於先前。再者，開發中國家人口成長以及所得提升，對畜產品之需求增加，致使國際穀物受到人類及畜禽的需求而使價格高漲。國際有識之士憂慮，在二十一世紀，因全球人口持續增加，農業資源分配不均，氣候異常所產生的糧食供應問題將有再度發生「糧食危機」的可能。以日本為例，實際上日本對全球糧食之展望相當悲觀，認為在 2025 年左右，可能成為國際糾紛原因之一。因此，維持基本糧食生產被世界各國列為生存與發展的必要策略，我國更不能例外。此一概念在綠色農業，強調「和平」的價值觀前提下，是一重要的考量因子。

二、農產品安全問題：

由於目前我國已邁入已開發國家的行列，工商業高度發展，2001 年每人每年平均所得已超過 12,800 美元，因此國人對農產品的消費型態將會有急遽的轉變。加上農產品貿易自由化，消費者對農產品的需求趨向多元化，講究高品質及衛生安全，尤其更重視產品與服務。面對此一新情勢，國內農產品的產銷，需有一套完整的檢驗、檢疫、品牌、標章的嚴格機制，才能樹立我國農產品安全衛生、優良品質的新形象，更能獲取國內外消費者的支持與信賴。另一方面，鑒於現今世界糧食不足，基因改造食品的技術也因此漸漸起飛，基因改造成為食物生產的主流。許多超市的架上也都

佈滿了基因改造食品(GMO)。相較於美國，歐盟對於 GMO 食品的安全性，對環境產生的危害，道德的認定，對社會經濟的衝擊等，所以對於此項基因工程大家仍有很多的疑慮與顧慮。此時農業生物技術引發的另一項重要爭議，就是生物技術之發展與運用究竟會對農業與食品產業產生怎樣的衝擊。雖然生物技術所帶來的產品充滿潛力，但仍擺脫不了又一波人為生態衝擊的疑慮。

三、環境與自然生態之損害：

農業是利用自然資源生產之產業，如果人為生態所開發的工具，與自然生態爭取過多的資源，其「天人交戰」之結果伏下了自然界對人類反撲的危機。過去在經濟發展過程中，機械革命帶來的工業用品，包括現代化農用化肥、農藥與農用機械的使用，使得林地及山坡地過度或違法開發利用，嚴重影響了涵養水源及水土保持的功能；部份沿海地區亦過度超抽地下水供養殖使用，導致地層下陷。另外農業部門及工業部門均有大量廢棄物及廢水的排放，使土地資源及水資源受到污染；不但破壞生態環境，亦危害國人健康，更威脅到國人生命財產的安全。另一方面，農用資材燃燒氣化在高空大氣層中，經常會製造二氧化碳，除了會污染大氣層亦會阻礙地球表面的散熱作用，形成溫室效應而導致氣候變遷，由於氣候對農作物生產的影響甚大，在此惡性循環下，糧食安全及農產品安全的問題也逐漸浮現。近年來國際上生態保育及環境維護皆擁有地球村的觀念，聯合國「氣候變化綱要公約」、「生物多樣性公約」、「森林原則」等國際規範的訂定以及 2002 年在南非約堡召開「地球永續發展高峰會議」後，所通過的宣言及行動計畫，顯示生態保育及環境維護，已形成全球性的政策措施且為各國應履行國際責任。

四、人類生活型態的變遷：

由於低出生率、低死亡率，使得全球人口已邁入高齡化的社會結構。加上工商業與經濟的發達，雖然在發展中城市提供大量的水果與蔬菜，但是現代人對食物的攝取漸走向精緻化，造成營養素攝取不平衡。加上年齡的增長，而發生各種生理機能的改變及衰退，許多已開發甚至開發中國家，已開始出現人口老化及慢性病患增加的現象。鑒於此，世界糧食組織對於糧食安全的定義，已由過去的確保所有的人在任何時候，對於糧食的直接和間接的基本需求都能夠得到滿足，逐漸轉變為現在所有人在任何時候，皆可獲得健康生活所需的充足、安全和富有營養的食物的重要概念。因此，均衡的飲食及適當的攝取營養素，可以減少很多健康問題的發生。

生物技術應用在農業之科技前瞻

90 年代生物科技的崛起，使農產業跳脫了傳統的變化模式，對社會、環境、經濟也造成不小的衝擊。為了因應新經濟時代來臨所帶來農業的質變，各國政府為了解各國生物技術在科技農業的應用願景，分別透過科技前瞻的分析，了解生物技術在農業之發展情境與方向。所謂「科技前瞻」是科技策略規劃工具之一，透過前瞻計畫之推動過程，使產、官、學、研界之間形成共識，而使科技資源達到整合及互動的功能，並藉此提供該國在未來特定領域之基礎研究情境，以供各國政府決策單位之科技資源分配之參考。目前全球已有超過四十個國家進行前瞻技術預測，透過此工具的運用希望能達到提昇科技競爭力、合理分配預算，以及透過溝通與共識將各種衝擊降至最低等三大目標。在這些國家當中，日本自 1970 年代始迄今，共推動八次前瞻技術預測計劃，除了每隔五年進行一次例行前瞻調查外，還重新審視前瞻預測的意義。自第一次調查的這二十年來，日本約有 70-79 %的農業議題完全或部分實現，意味著前瞻研究對於未來情境預測的準確性。由於每個國家因其自然資源、文化、經濟背景的不同，對農業的重視程度也各異。藉由分析近十年日本、德國、韓國、英國四國前瞻議題中有關生物技術在農業領域所占的份量，如表一所示。各國有關農業的議題，發現生物技術相關議題占總議題的比例很高，日本第六次生物技術約占其農業議題的 54 %；第七次前瞻則有 43 項，約占其農業議題的 54 %；而韓國、德國與英國則分別以 43 項、36 項及 22 項約占該國農業議題的 49 %、36 %及 19 %。亞洲國家的比例高於歐洲國家，這可能與歐洲對 GMO 的規定較為嚴格有關。

表一、各國國家前瞻計畫中農業生技相關議題數比較

國家前瞻計畫	研究進行年代	技術預估時程	生技議題/農業議題
日本(六)前瞻	1996-1997	30 年	45 項/84 項
日本(七)前瞻	2000-2001	30 年	43 項/79 項
韓國前瞻	1998-1999	25 年	43 項/88 項
德國前瞻	1996-1998	30 年	36 項/101 項
英國前瞻	1993-1995	20 年	22 項/116 項

如何利用生物技術之手段來達到農業之永續，可透過日本前瞻研究的

內容並依糧食安全、減少殘毒、增進健康、食品安全、產銷整合等五個策略方向作為思考的依歸。

一、糧食安全：

在糧食安全的考量下，基改作物已不是各國(包括我國)可選擇是否接受的問題，而是如何使其更安全的問題。也因此日本致力發展技術方向應用於植物，包括以基因操作技術來改良作物的產量及抗逆境能力(例如抗病力及抗寒力)、利用生化控制或基因操作技術以改良水稻等 C_3 植物的光合作用系統，以提高糧食作物產量。由於水生動物不與人類競爭糧食與土地，日本預測未來膳食蛋白質將以水產為主。因此除了加強海洋資源的開發，並利用基因操作與細胞融合技術創造耐水溫變化及疾病之品種，生產優良穩定特性（耐病性，高成長性）的水產養殖品種，此一策略或許可降低畜產與人類競爭糧食的壓力。台灣也為一島國，此策略為值得重視方向之一。

二、減少殘毒：

此為減少人為生態對於自然環境所造成的負面影響之策略，尤其在降低農業化學品用量方面，日本學者預測到 2015 年生物性農藥可取代化學農藥用量之半，同時因積極在非豆科固氮作物的開發及溶磷技術的開發，希望能因此增加土壤中的氮素來源，使得溶磷微生物可以分解土壤中的難溶的磷，並為作物所吸收；除了使作物自生產環境中的營養元素供應增加，同時增加了土壤中的有機質，提高了土壤的肥力，並降低化肥的使用量。另一方面，環境可因復育技術的開發，包括檢測技術的開發、生物多樣性的分子工具、森林、海洋、沼澤低地的復育技術、污染的清除等技術，以排除污染、恢復生態，此類技術如與遙測等數位技術相結合，以強化自然資源與國土經營之管理,建立對天然災害預警與偵測之管理系統。

三、增進健康：

健康是將來農業重要的價值觀。而在日本科技前瞻諸多強調老年化的社會問題，同時對營養需求提供「客製化」量身訂做的新概念，包括根據個人體質不同(例如過敏、不同型態之慢性病)或不同族群(例如老年人)所設計出的各種機能性食品，用以預防疾病。除了能降低農業資源之非必要浪費，更可減輕未來政府對國民健康保險上的支出。此一策略或可為各國在發展保健食品之健康產業上一個重要的方向。

四、食品安全：

基改作物雖已逐漸普遍化，但仍有其對環境的風險。社會大眾因工業革命所帶來的負面影響記憶猶新，對轉基因作物在安全及 管理機制上不無

疑慮，因此遲遲無法普遍化。而未來新興農產品的價值觀，則會以基改食品及有機生產兩種產品並存，供消費者自行選擇。因此日本在食品安全之科技前瞻策略中強調檢測技術之開發，即透過數位技術的結合，發展可由消費者自行檢測的技術，以保障消費者選擇的權利。另外政府及相關決策單位須從食物面及環境面，檢討基因改造農產品之安全性，以使消費者理解的評估方法之開發，並使一般市民對於GMO有正面的理解以及意識的形成。因此與社會溝通形成共識之策略將成為我國政府在食品安全相關之施政上一個重要項目。

五、產銷整合：

綜觀台灣農業現況，台灣農業因以小農生產為主體，在經營成本上相對不具有競爭力。面對全球化趨勢，必須加速整合農業價值鏈，從育種、研發、生產、行銷到流通，促進農業整合經營，藉由大農(農民團體、農企業）之整合，以帶動小農（家庭農場、產銷班）發展，以扭轉個別農民在規模經濟的劣勢，使台灣農業成為高競爭力的產業。日本在產銷體系之策略上，推動法人化機構從事農業生產的趨向殊為明顯。在此架構下，開發各種技術及管理機制，以確保農產品的品質，及降低物運時的污染。例如從生產現場到餐桌食品的過程中，可透過 DNA 晶片和分光感測器等各種感測器監控系統之開發，以防止有害物質攙入及細菌污染，確保食品的安全性。以台灣目前而言，生產履歷制度即為建構產銷整合管理系統之重要一環。另外，開發全球規模的感測網絡技術，以建立農林水產生態系中主要元素與物質循環的監控聯結系統，可早期發現生理病害、病蟲害、禽流感，以及苗圃場、畜舍、養殖池等即時環境問題，亦為此策略之重要發展方向。

綜合日本農業技術前瞻的概念，一方面用前瞻調查，設定願景及形成共識，另一方面以文獻分析盤點知識及技術，再加上領域整合的觀點設定主觀及客觀的指標，依此定位透過「技術地圖」的實現，將農業科技發展予以整合，揭示必須發展之技術及其完成的時間。而技術的選擇，則可跨越生技或非生技，甚至其他領域的技術予以整合，此一科技政策規劃的方式已得到很多國家的迴響，也值得我國決策單位之參考。

結　語

生物技術或可定義為在分子層面探索及操作生命現象的技術。其除了傳統發酵等操作微生物的技術外，還有組織培養、基因定序及檢測、基因轉殖、生物資訊等新技術，其技術應用的層面跨越了醫藥、產程開發、農

業、環境保育、食品、能源等多個領域。雖然生物技術為大幅度提升生產及研發效率最具潛力的工具，但迄今生物技術在農業上的應用僅為傳統技術之輔助工具，並不能完全取代傳統技術。就以農業目前最重視的基改作物為例，生物技術在品種開發的過程中，無法取代傳統育種應用的程序。因此通常生物技術占研發成本的三成，而近七成的成本則屬於傳統育種技術的開發。

故當各國在提倡綠色農業時，不應過分單獨強調生物技術的開發，應著重生物技術未來在「分子生態學」的研究。此研究注重動、植物和微生物(包括重組生物體)的個體或群體與環境的關係，即利用分子生物學之手段來研究和解決生態學的問題，闡明自然種群和引進種群(例如基轉動物或植物)與環境之間的關係，評估重組生物體之釋放對環境的影響等研究。其中分子指標之建立是分子生態學重要工具之一。透過這些研究我們對自然界維持生物多樣性的機制可以進一步瞭解，使人為生態對自然生態的衝擊降到最低程度，以期達到綠色農業所追求「天人合一」的境界。

參考文獻

Nassar N. M. 2006. Are genetically modified crops compatible with sustainable agriculture? Genet Mol Res. 31;5(1):91-2.

Brandt P. 2003. Overview of the current status of genetically modified plants in Europe as compared to the USA. J Plant Physiol. 160(7):735-42.

Harlander S. K. 2002. The evolution of modern agriculture and its future with biotechnology. J Am Coll Nutr. 21(3 Suppl):161S-165S.

郾宏潘。2004。台灣的農業科技研究，作物、環境與生物資訊 1: 141-162。

黃勝忠、蔡奇助。2000。生物技術在農業生產改進上的應用。生物產業 11:1-10。

黃欽榮。1998。加入世界貿易組織對農業之衝擊與因應對策，產運銷季刊 115:1-12。

陳治宇。殷正華。2002。二十一世紀科技趨勢報告-農林漁牧與食品，行政院國家科學委員會科學技術資料中心， 90-105 頁。

日本科學技術廳第六次技術預測調查概要。2025 年之科學技術-日本未來技術之發展方向。1998。行政院國家科學委員會科資中心出版， 1-54 頁。

江晃榮。2002。新綠色革命與農業生物技術，化工科技與商情出版， 25-37 頁。

黃山內、謝明憲。1999。農村生態保育與農業永續經營，中華民國農學團體 88 年聯合年會中心議題討論: 誇越千禧年農業新紀元--兼論 921 地震災後農業復建論文集，7-23 頁。

誌　謝

本研究蒙行政院農業委員會經費補助(計畫編號: 94 農業科學-5.1.3 科-a5)得以順利完成，特此感謝。